

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/26

## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99812452.4

[43] 公开日 2001 年 11 月 28 日

[11] 公开号 CN 1324453A

[22] 申请日 1999.10.20 [21] 申请号 99812452.4

[30] 优先权

[32] 1998.10.23 [33] US [31] 60/105,323

[86] 国际申请 PCT/US99/24591 1999.10.20

[87] 国际公布 WO00/25160 英 2000.5.4

[85] 进入国家阶段日期 2001.4.23

[71] 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 C·P·布罗菲 C·达罗

V·A·爱德华兹 B·艾德

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 钱慰民

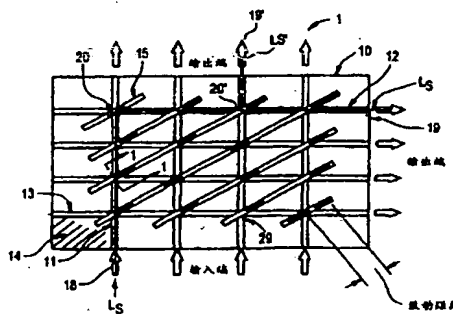
BEST AVAILABLE COPY

权利要求书 7 页 说明书 11 页 附图页数 8 页

[54] 发明名称 密封流体的微机电系统光开关

[57] 摘要

密封流体的微机电系统 (MEMS) 光开关包括一个光波导矩阵, 其中 MEMS 反射镜 (22) 位于沟槽中, 而沟槽位于波导交叉点 (29) 上。沟槽中填充了保持准直流体 (30), 反射镜 (22) 浸没在流体中。保持准直流体 (30) 防止光束在进入开关交叉点时扩展。此特征允许使用非常小的 MEMS 反射镜 (22), 并且防止了相关领域中出现的一些关于 MEMS 反射镜 (22) 的典型问题。特别是, 本发明揭示的 MEMS 反射镜 (22) 被缩小到大约  $15\mu\text{m}$  宽,  $2\mu\text{m}$  厚, 致使致动距离缩短, 大约达到  $15\mu\text{m}$ 。此特征产生一个具有更快切换时间的光开关。



ISSN 1008-4274

# 权 利 要 求 书

1. 一种用于引导光信号的光开关，其特征在于，所述光开关包括：  
至少一个光波导，它具有输入端、输出端和折射率为  $n_1$  的纤芯部分；  
至少一个沟槽，它形成于所述至少一个光波导中，位于所述输入端和所述输出端之间的交叉点上；

保持准直流体，它位于所述至少一个沟槽中，并且所述保持准直流体的折射率基本上与所述纤芯部分的所述折射率相同；和

至少一个可移动的切换元件，它具有用于将光信号引入所述输出端的打开位置和闭合位置，所述至少一个可移动的切换元件位于所述至少一个沟槽中，并且在处于所述打开位置和所述闭合位置时基本上浸没在所述保持准直流体中。

2. 如权利要求 1 所述的光开关，其特征在于，至少一个可移动的切换元件包括：

致动器；和

反射元件。

3. 如权利要求 2 所述的光开关，其特征在于，反射元件还包括：

覆盖至少一个沟槽的板；和

反射镜元件，它与所述板相连，并且从所述板延伸到至少一个沟槽中。

4. 如权利要求 3 所述的光开关，其特征在于，当激励静电致动器时，静电引力使板移动，致使反射镜元件在至少一个沟槽内移动，到达打开位置。

5. 如权利要求 4 所述的光开关，其特征在于，当不激励静电致动器时，板处于静止状态，致使反射镜元件处于闭合位置。

6. 如权利要求 2 所述的光开关，其特征在于，反射元件是光栅。

7. 如权利要求 2 所述的光开关，其特征在于，反射元件是可移动的 MEMS 反射镜。

8. 如权利要求 7 所述的光开关，其特征在于，在大约 370 微秒或更长的时间内，可移动反射镜在打开位置和闭合位置之间移动，或者在闭合位置和打开位置之间移动。

9. 如权利要求 7 所述的光开关，其特征在于，可移动反射镜的厚度大约为 2  $\mu\text{m}$ ，宽度大约为 15  $\mu\text{m}$ 。

10. 如权利要求 7 所述的光开关, 其特征在于, 反射镜至少部分固定在沟槽内, 并且可滑动。

11. 如权利要求 7 所述的光开关, 其特征在于, 反射镜以枢轴方式连接在沟槽内。

12. 如权利要求 2 所述的光开关, 其特征在于, 致动器包括一梳状驱动致动器。

13. 如权利要求 2 所述的光开关, 其特征在于, 致动器包括一刷状驱动致动器。

14. 如权利要求 2 所述的光开关, 其特征在于, 致动器包括一热致动器。

15. 如权利要求 2 所述的光开关, 其特征在于, 致动器包括一磁致动器。

16. 如权利要求 2 所述的光开关, 其特征在于, 致动器包括一静电致动器。

17. 如权利要求 1 所述的光开关, 其特征在于, 至少一个可移动切换元件包括:

致动器; 和

折射元件。

18. 如权利要求 1 所述的光开关, 其特征在于, 至少一个沟槽的宽度在大约 6 微米和 10 微米之间的范围内。

19. 如权利要求 18 所述的光开关, 其特征在于, 至少一个沟槽的宽度大约等于 6 微米。

20. 如权利要求 1 所述的光开关, 其特征在于, 至少一个可移动切换元件具有大约 15  $\mu\text{m}$  的致动距离。

21. 如权利要求 21 所述的光开关, 其特征在于,  $\Delta_{1-2}$  大体上等于 0.34%。

22. 如权利要求 21 所述的光开关, 其特征在于,  $\Delta_{1-2}$  大体上等于 0.5%。

23. 如权利要求 1 所述的光开关, 其特征在于, 至少一个光波导包括:  
多个输入光波导; 和

多个输出光波导, 它们在多个交叉点处与所述多个输入光波导相交, 并且至少一个沟槽包括形成于所述多个交叉点上的多个沟槽。

24. 如权利要求 23 所述的光开关, 其特征在于, 至少一个可移动的切换元件是多个可移动的切换元件, 每个所述可移动切换元件位于所述多个沟槽的一个相应沟槽内。

25. 如权利要求 24 所述的光开关, 其特征在于, 还包括:

第一衬底; 和

第二衬底, 它与所述第一衬底相连, 用于将保持准直流体密封在多个沟槽内。

26. 如权利要求 25 所述的光开关, 其特征在于, 多个输入波导和多个输出波导形成于第一衬底上, 而多个可移动切换元件形成于第二衬底上。

27. 如权利要求 26 所述的光开关, 其特征在于, 还在第一衬底与第二衬底相连的位置上包括一密封体或粘合体。

28. 如权利要求 25 所述的光开关, 其特征在于, 多个输入波导、多个输出波导和多个可移动切换元件整体形成于第一衬底上。

29. 如权利要求 28 所述的光开关, 其特征在于, 多个可移动切换元件、多个输入波导和多个输出波导形成一个  $N \times M$  无阻断的交叉开关, 其中  $N$  是输入波导数,  $M$  是输出波导数,  $N \times M$  是可移动切换元件数。

30. 如权利要求 28 所述的光开关, 其特征在于, 多个可移动切换元件中的每个切换元件还包括:

一个梁, 它与第一衬底相连, 所述梁呈悬臂状, 盖住沟槽; 和

反射镜元件, 它与所述梁相连, 并且从所述梁延伸到所述沟槽中。

31. 如权利要求 30 所述的光开关, 其特征在于, 还包括由静电致动器组成的两维阵列, 它们位于第二衬底上, 其中所述静电致动器阵列中的每个静电致动器都与可移动切换元件阵列中的一个相应可移动切换元件对准。

32. 如权利要求 31 所述的光开关, 其特征在于, 当激励静电致动器时, 静电引力使板移动, 致使反射镜元件在沟槽内移动, 到达打开位置。

33. 如权利要求 31 所述的光开关, 其特征在于, 当不激励静电致动器时, 板处于静止状态, 致使反射镜元件处于闭合位置。

34. 如权利要求 31 所述的光开关, 其特征在于, 还包括:

晶体管, 它与静电致动器相连, 用于将电力提供给受激状态下的静电致动器; 和

电极, 它与所述晶体管相连, 用于将电力提供给受激状态下的所述晶体管。

35. 如权利要求 24 所述的光开关, 其特征在于, 还包括:

第一光学衬底, 它具有多个输入光波导、多个输出光波导和位于其中的

多个可移动开关；和

第二电气衬底，它与所述第一衬底相连，所述第二衬底具有与多个可移动开关相对应的多个致动器，其中多个致动器中的每一个都激励多个可移动开关中的一个相应开关。

36. 如权利要求 35 所述的光开关，其特征在于，第二电气衬底包括用于对多个致动器个别寻址的多个电极，以形成一个无阻断的交叉开关。

37. 如权利要求 36 所述的光开关，其特征在于，致动器包括一磁致动器。

38. 如权利要求 36 所述的光开关，其特征在于，致动器包括一静电致动器。

39. 如权利要求 1 所述的光开关，其特征在于，至少一个光波导、至少一个沟槽和至少一个可移动切换元件被安排成多边形结构。

40. 如权利要求 39 所述的光开关，其特征在于，多边形结构是六边形结构。

41. 如权利要求 40 所述的光开关，其特征在于，至少一个光波导包括：  
由输入光波导组成的三个线性阵列，它们被安排在六边形结构的第一、第三和第五边；和

由输出光波导组成的三个线性阵列，它们被安排在六边形结构的第二、第四和第六边。

42. 如权利要求 41 所述的光开关，其特征在于，至少一个沟槽包括一个由沟槽组成的两维阵列，这些沟槽位于输入光波导的三个线性阵列与输出波导的三个线性阵列相交的交叉点上。

43. 如权利要求 1 所述的光开关，其特征在于，至少一个沟槽是一个连续的对角通道，它与多个交叉点上的所述至少一个光波导相交。

44. 如权利要求 1 所述的光开关，其特征在于，至少一个沟槽是一个分立形成的并与单个交叉点相交的分离井。

45. 一种用于传送光信号的光开关的制造方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

形成一衬底；

在所述衬底上形成一个具有预定折射率的光波导层；

在所述光波导层中形成多个波导结构；

在所述多个波导结构中形成多个沟槽；

在所述衬底上形成多个可移动的反射镜和致动器；

将多个可移动反射镜和致动器放在所述多个沟槽中；

用一种保持准直流体填充所述多个沟槽，所述流体的折射率大体上与所述光波导层的折射率相同，并且所述保持准直流体基本上浸没了每个可移动的反射镜和致动器；和

密封光开关。

46. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个波导结构的步骤是用光刻工艺完成的。

47. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个波导结构的步骤是用微复制技术完成的。

48. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个波导结构的步骤是用浮雕技术完成的。

49. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成衬底的步骤包括形成第一衬底和第二衬底。

50. 如权利要求 49 所述的方法，其特征在于，光波导层形成于第一衬底上，而多个可移动反射镜和致动器形成于第二衬底上。

51. 如权利要求 49 所述的方法，其特征在于，多个波导结构以及多个可移动的反射镜和致动器整体形成在第一衬底上。

52. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个可移动反射镜和致动器的步骤是通过在 MEMS 衬底上进行表面微机械加工来完成的。

53. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个可移动反射镜和致动器的步骤是用 LIGA 技术进行微机械加工来完成的。

54. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个可移动反射镜和致动器的步骤是用绝缘体上外延硅技术来完成的。

55. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个可移动反射镜和致动器的步骤是用 SREAM 工艺技术进行微机械加工来完成的。

56. 如权利要求 45 所述的方法，其特征在于，形成多个可移动反射镜和致动器的步骤是通过进行各向异性刻蚀的体微机械加工技术来完成的。

57. 一种用于引导光信号的光开关，所述光开关包括第一衬底和第二衬底，其中第一衬底具有输入端、第一输出端以及在一交叉点与所述输入端和第一输出端相连的第二输出端，而第二衬底与所述第一衬底相连，其特征在

于，所述光开关包括：

切换元件，它位于交叉点上，当处于第一状态时将输入端中传入的光信号引导到第一输出端，而当处于第二状态时将光信号引入第二输出端，并且在所述第一状态和所述第二状态下，所述切换元件基本上都浸没在保持准直流体中；

致动器，它形成于所述第二衬底上，并与所述切换元件耦合，用于在所述第一状态和所述第二状态之间移动所述切换元件；和

电路，它与所述致动器相连，用于使所述致动器根据所述切换状态移动所述切换元件。

58. 一种用于引导光信号的光开关，所述光开关包括第一衬底和第二衬底，其特征在于，所述光开关包括：

一光路，它形成于第一衬底中，所述光路包括与多个第二波导相交的多个第一波导；

多个交叉点，它们形成于所述第一光波导与所述第二光波导相交的位置；

多个可移动的开关，它们位于所述多个交叉点上，每个所述开关在第一切换状态下将光信号引入所述第一光波导中的一个光波导，或者在第二切换状态下将光信号引入所述第二光波导中的一个光波导，并且当处于所述第一切换状态或所述第二切换状态时，每个所述开关都基本上浸没在保持准直流体中；和

集成电子系统，它形成于第二衬底上，并与所述多个可移动开关耦合，所述集成电子系统根据预定命令在所述第一切换状态和第二切换状态之间有选择地激励每个可移动开关。

59. 如权利要求 58 所述的光开关，其特征在于，集成电子电路系统还包括：

多个致动器，它们位于所述第二衬底上，并与多个开关耦合，并且所述多个致动器中的每一个在所述第一切换状态和所述第二切换状态之间激励所述多个可移动开关中的一个开关。

60. 如权利要求 59 所述的光开关，其特征在于，多个致动器是静电致动器。

61. 如权利要求 59 所述的光开关，其特征在于，多个致动器是磁致动器。

62. 如权利要求 59 所述的光开关，其特征在于，集成电气寻址电路还包

括：

多个列电极，它们形成于第二衬底上；

多个行电极，它们形成于第二衬底上，并且基本上与所述列电极电绝缘；

和

多个晶体管，它们位于所述第二衬底上，所述多个晶体管中的每个晶体管与所述多个列电极中的一个电极、所述多个行电极中的一个电极以及多个致动器中的一个致动器相连，并且只有用所述行电极和所述列电极两者对所述致动器寻址时，所述晶体管才向所述致动器提供激励功率。

63. 如权利要求 62 所述的光开关，其特征在于，根据预定命令向多个行电极中的每个电极提供电压，但只激励多个列电极中的一个电极，以便每次对一系列中的多个晶体管寻址。

64. 如权利要求 58 所述的光开关，其特征在于，多个可移动开关包括多个 MEMS 反射镜。

65. 一种用于引导光信号的光开关，其特征在于，所述光开关包括：

一光路，它包括与多个第二波导相交的多个第一波导；

多个可移动的开关，它们位于所述第一光波导与所述第二光波导相交的位置上，所述多个可移动开关中的每个开关在第一切换状态下将光信号引入所述第一光波导中的一个光波导，或者在第二切换状态下将光信号引入所述第二光波导中的一个光波导，并且当处于所述第一切换状态或所述第二切换状态时，每个所述开关都基本上浸没在保持准直流体中；和

热致动系统，它具有多个与所述多个可移动开关耦合的热致动器，所述热致动系统根据一预定命令有选择地在所述第一切换状态和所述第二切换状态之间激励多个可移动开关中的每个开关，并且所述热致动系统防止电流流到所述预定命令未选中的可移动开关。

66. 如权利要求 65 所述的光开关，其特征在于，热致动系统包括：

多个列电极，它们形成于第二衬底中，并且通过接地激励一个列电极；

多个行电极，它们形成于第二衬底中，并且基本上与所述列电极电绝缘，用正电压激励一个行电极；和

多个二极管，所述多个二极管中的每个二极管都与所述行电极中的一个相连；

热致动元件，它与所述二极管和所述列电极的一个相连，并且电流被禁止从所述一个列电极流向所述一个行电极。



# 说明书

## 密封流体的微机电系统光开关

### 相关申请的交叉参考

本申请是 1998 年 10 月 23 日提交的美国临时专利申请第 60/105,323 号的部分连续申请。所述临时申请的整个内容是本申请的依赖，并通过引用包括在此。由此，根据美国法典 § 119(e)，本申请要求其优先权的利益。

### 发明领域

本发明一般地涉及光开关。尤其，本发明涉及一种光学开关阵列，该阵列使用一可移动的 MEMS 反射镜，对于开关的打开位置和闭合位置，该反射镜都浸没在折射率匹配的、保持准直的流体中。

### 发明背景

针对光开关提议的方式可以大致分为两类：导波法和自由空间法。导波法包括多包层波导，实行弯曲调制和基于特种材料的切换，而自由空间法一般依赖于诸如反射镜或透镜等可移动的光学元件。

导波法通常使用 Mach-Zehnder 干涉仪、Y-分支波导和其它器件。它通过改变器件中某个臂的折射率，使光从器件的一个臂转向另一个臂。一般，利用电动机构、热致动机构、或者其它致动机构可以到达此目的。

在一些应用中，自由空间法比导波法优越。由于波导在空间上彼此隔离，并且不会耦合，所以自由空间法的串扰非常小。此方法的唯一串扰源是由于分散了可移动光学元件。另外，自由空间器件不依赖波长，并且通常不依赖于温度。

已提出过几种自由空间法。一种方法使用了具有可移动微机电系统 (MEMS) 反射镜的开关阵列。输入和输出光纤被置于凹槽中，并彼此正交。MEMS 反射镜处在自由空间，位于输入光纤和输出光纤的交点上。此方法要求相当大的反射镜和准直器。因为当光束离开波导时会不可避免地发生扩展，并在自由空间中向 MEMS 反射镜传播。由于较大的反射镜对角度定位精度、平坦度都有要求，并且难以精确快速地起动的这种相对较大的结构，所以大反射镜存在着

问题。这些器件一般具有  $300\ \mu\text{m}$  至  $400\ \mu\text{m}$  的致动距离，这会对切换速度产生负面影响。另外，必须对每个输入和输出光纤装配单体的准直器，从而增大制造成本。

在第二种自由空间法中，使用了平面型波导阵列。在输入波导和输出波导的交叉点上形成沟槽。将数字式微反射镜器件(DMD)放在沟槽内，并处在自由空间中。每个微反射镜起光闸的作用，用静电致动器或磁致动器可以将其旋转到闭合位置，致使光信号从输入波导反射到输出波导中。当光闸处于打开位置时，光沿原始方向继续传播，不被切换。此方法也存在光束扩展的问题，并且这种开关产生的特有损耗会很高。

第三种自由空间法是将一种折射率匹配的流体用作切换元件。它在衬底上形成一平面型波导阵列。在交叉点处形成沟槽，并向沟槽中填入折射率与波导纤芯折射率相匹配的流体。为了激励开关，可以用致动器使流体在空间上移入和移离交叉点，或者用热学或电解方法将流体转换成气体，产生气泡。为使该方法可行，对交叉点处的波导端面切割得到的小平面必须具有反射镜的质量，因为它们要用来将光反射到所需的波导中。最后，必须将流体排干净，以保持所需小平面的几何形状，并防止因任何残留液滴产生散射损耗。

在另一种方法中，将一个梁对角放置在波导中的一个空隙上。从梁上悬下一反射镜至空隙中。将一电极放在空隙的附近，梁的下方。当寻址到该电极时，梁和反射镜移入空隙，反射波导中传播的光。此方法有若干缺点，而且也存在上述光束扩展的问题。同样，这种开关的特有损耗会很高。其次，电极被放在置入波导的衬底上。这种设计的再生产费用很高。

因此，需要一种具有自由空间法之优点但不存在上述相关设计之缺点的光开关。

### 发明内容

本发明满足了上述需要。将一种可移动的 MEMS 反射镜放在一沟槽中，沟槽内填充了一种不导电的、低粘度的、折射率匹配的流体。折射率匹配的流体起保持准直流体的作用，它可以防止光束在开关交叉点上扩展。因此，在开关交叉点上可以使用较小的反射镜，致使致动距离缩小，致动时间缩短。

本发明的一个方面是一种用于引导光信号的光开关。该光开关包括：至少一个光波导，它具有输入端、输出端和折射率为  $n_1$  的纤芯部分。此开关还

包括至少一个沟槽，沟槽形成于至少一个光波导中，位于输入端和输出端之间的交叉点上。保持准直流体位于至少一个沟槽中，保持准直流体的折射率基本上与纤芯部分的折射率相同。此开关还包括至少一个可移动的切换元件，它具有用于将光信号引入输出端的打开位置和闭合位置。至少一个可移动的切换元件位于至少一个沟槽中，并且当处于打开位置和闭合位置时，该切换元件都基本上浸没在保持准直流体中。

在另一方面，本发明包括一种用于传送光信号的光开关的制造方法。该方法包括以下步骤：形成一衬底；在衬底上形成一个具有预定折射率的光波导层；并在光波导层中形成多个波导结构。在多个波导结构中形成多个沟槽。在衬底上形成多个可移动的反射镜和致动器。将多个可移动的反射镜和致动器放在多个沟槽中。用一种保持准直流体填充多个沟槽，其中流体的折射率大体上与光波导层的折射率相同，并且保持准直流体大体上浸没了每个可移动的反射镜和致动器。最后，密封光开关。

以下将在详细描述中叙述本发明的附加特征和优点。对于本领域的熟练技术人员来说，通过阅读这些描述很容易理解其中的一部分特征和优点，或者通过实践如本文所述的发明来认识它们，这里本文描述包括以下的详细描述、权利要求书以及附图。

#### 附图概述

图 1 是本发明第一实施例的平面图；

图 2 是沿图 1 中直线 1-1 截取得到的第一实施例的截面图，示出了第一衬底上形成之元件与第二衬底上形成之元件之间的关系；

图 3 是第二实施例的三维视图，示出了滑动的 MEMS 反射镜组件和 MEMS 致动器；

图 4 是本发明第三实施例的平面图，示出了光开关的六边形形式；

图 5A-5H 是本发明第一实施例的示意图，示出了处于各种制造阶段的光开关；

图 6 是本发明第二实施例的详细视图，示出了 MEMS 装配区 (assembly area)；

图 7 是沿图 6 中直线 2-2 截取得到的本发明第二实施例的截面图，示出了在 MEMS 反射镜旋转到位之前的 MEMS 装配区；

图 8 是沿图 6 中直线 2-2 截取得到的本发明第二实施例的截面图，示出了在 MEMS 反射镜旋转到位之后的 MEMS 装配区；

图 9 是沿图 6 中直线 2-2 截取得到的本发明第二实施例的截面图，示出了制造细节；

图 10 是依照本发明另一实施例的 MEMS 装配区的详细视图；

图 11 是本发明第四实施例的截面图；

图 12 是本发明第四实施例的集成寻址电子电路的示意图；

图 13 是第五实施例的使用热致动器的寻址电子电路的示意图；

图 14 是图 13 所示示意图的等效电路图。

### 较佳实施例的详细描述

现在详细描述本发明目前较佳的实施例，附图对其作了例示。在任何可能的情况下，在所有附图中始终用相同的标号表示相同或类似的部件。图 1 例示了本发明光开关的一个实施例，并且一般始终用标号 1 表示该光开关。

依照发明，本发明的光开关包括可移动的 MEMS 反射镜 22，该反射镜 22 位于沟槽 15 中，而沟槽中填充了不导电的、低粘度的、折射率匹配的流体 30。折射率匹配的流体 30 起保持准直流体的作用，它可以防止光束在开关交叉点 29 处扩展。由于光信号在开关交叉点中保持准直，所以可以使用较小的反射镜，致使致动距离减小，致动时间缩短。以下参照附图，更详细地描述本发明的该实施例。

图 1 是本发明第一实施例的光开关 1 的平面图。开关 1 是一个由波导纤芯材料 13 和波导包层材料 14 形成的波导矩阵，所述材料都位于第一衬底 10 上。纤芯 13 和包层 14 安排在第一衬底 10 上，形成多个输入波导 11 和多个输出波导 12。在输入波导 11 与输出波导 12 相交的交叉点 29 处，形成多个沟槽 15。本领域的普通技术人员应该认识到，有若干种方法可以形成沟槽 15。第一种方法是：如图 1 所示，将沟槽 15 形成为连续的、与多个交叉点相交的对角通道。另一种方法是，将沟槽 15 放置成分开形成的且与单个交叉点相交的离散井。

将多个可以独立移动的切换元件 20 放在位于每个交叉点 29 上的沟槽内。每个切换元件 20 可以在打开位置和闭合位置之间独立移动。在打开位置，允许光传播通过开关的交叉点 29。在闭合位置，切换元件 20 被移入交叉点 29，

将光引入输出波导 12。

开关 1 的工作情况如下。光信号  $L_0$  通过输入端 18 进入开关 1。光信号  $L_0$  在输入波导 11 内传播，直到处于闭合位置的切换元件 20 将其偏转到输出波导 12 中。光信号  $L_0$  从输出端 19 离开开关 1。另外请注意，可以用双面开关为光选择多条路径。图中，开关 20' 将光信号  $L_0'$  引向输出端 19'。因此，可以将本发明构造成一个  $N \times M$  无阻断的交叉开关。

图 2 是沿图 1 中直线 1-1 截取得到的光开关 1 的截面图。在第一实施例中，切换元件 20 形成于第二衬底 40 上。然后，将第二衬底 40 与第一衬底 10 对准，使得切换元件 20 位于多个沟槽 15 中。在连接界面 17 处，用倒装粘结或类似方法使第一衬底 10 与第二衬底 40 相连。在以后将讨论的第三实施例中，切换元件 20 形成于第一衬底 10 上。在本实施例中，第二衬底 40 对开关 1 仅起盖子的作用。

切换元件 20 包括滑动的 MEMS 反射镜 22、反射镜簧片(anchor)23、MEMS 芯片(chip)21 和致动器 25。这里致动器 25 未在图 2 中示出。滑动反射镜 22 通过反射镜簧片 23 与 MEMS 芯片 21 相连，它位于沟槽 15 中，并且浸没在保持准直流体 30 内。保持准直流体 30 最好是一种不导电的、低粘度的流体，其折射率接近或基本上与纤芯材料 13 的折射率相匹配。对于所有的静电致动器，都要求流体不导电，但磁致动器不这样要求。当用热致动器来实现本设计时，流体不应具有低导热性。

对于打开和闭合两个切换位置，反射镜 22 都浸没在流体 30 中。这比相关技术具有明显的优势。一般来说，在纤芯 13 中传播的光信号是准直的。当光信号进入沟槽 15 时，由于流体的折射率与纤芯的折射率匹配，所以可以保持光信号准直。由于流体 30 削弱了光束扩展，所以可以使用较小的反射镜结构。在本发明中，MEMS 反射镜 22 只有  $15\ \mu\text{m}$  宽， $2\ \mu\text{m}$  厚。

沟槽 15 的宽度只有  $6\ \mu\text{m}$  至  $10\ \mu\text{m}$ 。因此，可以获得非常短的致动距离，大约为  $15\ \mu\text{m}$  左右。在相关技术中，致动距离为  $300\ \mu\text{m}$  至  $400\ \mu\text{m}$ ，与此相比，本发明有明显的改进。此改进还将导致光开关 1 具有非常短的切换时间，大约为  $370\ \mu\text{s}$ 。而  $400\ \mu\text{m}$  反射镜的切换时间达  $10\ \text{ms}$ 。注意，必须将沟槽 15 刻蚀到足够的深度，以允许反射镜 22 在处于反射位置时基本上遮蔽掉光信号所有的模式能量(>99%)。在一个实施例中，沟槽宽  $6\ \mu\text{m}$ ，在  $2\ \mu\text{m}$  反射镜 22 的两侧提供了  $2\ \mu\text{m}$  的间隙。本领域的普通技术人员应该意识到，还可以用诸

如光栅和折射元件等其它结构来实现切换元件 20。

在本发明的另一个实施例中，波导 11 和 12 的  $\Delta_{1-2} \approx 0.5\%$ 。本领域的普通技术人员应该认识到， $\Delta_{1-2}$  定义为：

$$\Delta_{1-2} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

其中  $n_1$  是纤芯折射率， $n_2$  是包层折射率。当把  $\Delta_{1-2}$  从 0.34% (该值与光纤工业标准 SMF-28 相符) 升高到 0.5% 时，致动距离可以缩短 5-7  $\mu\text{m}$ ，沟槽深度可以缩小 5  $\mu\text{m}$ 。

图 3 是第二实施例的三维视图。滑片 24 位于沟槽 15 的底部。图中示意地示出，滑动的 MEMS 反射镜 22 通过反射镜簧片 23 与滑片 24 相连。MEMS 致动器 25 根据所需要的切换位置，将滑片 24 移入和移出交叉点 29，从而使 MEMS 反射镜 22 在打开位置和闭合位置之间移动。MEMS 致动器 25 可以用若干种本领域众所周知的方法来实现。MEMS 致动器 25 可以用诸如刷状驱动器或梳状驱动器等静电致动器来实现。在本设计中，还可以使用磁致动器。热致动器是可以用来实现致动器 25 的第三种方式。注意在图 3 中，为清楚起见，未示出保持准直流体 30。但是，流体 30 在波导小平面 16 的加工要求方面起着重要的作用。这些要求因两个原因而得以宽松：其一是由于保持准直流体抑制了光束扩展；其二是由于在切换期间小平面 16 并不用来反射光信号。在图 3 中，小平面 16 与 MEMS 滑动反射镜 22 的平面成大约  $45^\circ$  的角度。但由于要求放宽，所以该角度不必为  $45^\circ$ 。事实上，该角度可以是  $0^\circ$  和  $45^\circ$  之间的任意值。

图 4 是本发明第三实施例的平面图，示出了光开关 70 的六边形形式。由输入波导 71、73 和 75 组成的三个线性阵列位于六边形开关 70 的第一、第三和第五边。由输出波导 72、74 和 76 组成的三个线性阵列位于六边形开关 70 的第二、第四和第六边。由沟槽 77 构成的两维阵列位于输入光波导 71、73 和 75 与输出光波导 72、74 和 76 相交的交叉点 701 上。多个独立移动的切换元件 (为清楚起见，图中仅示出一个) 位于每个交叉点 701 上的沟槽 77 中。第二实施例中切换元件的工作方式与第一实施例中切换元件 20 的工作方式相同。本领域的熟练技术人员应该意识到，还可以使用其它多边形几何形状 of 阵列。

图 5A-5G 是本发明第一实施例的示意图，示出了处于各个制造阶段的光开关。图 5A 示出了第一衬底 10 的形成。第一衬底 10 可以用本领域普通技术、

人员公知的任何方法和材料制成。这类方法包括玻璃成形法；使用诸如硅等半导体材料；化学汽相沉积石英、熔融石英、陶瓷材料、金属材料或聚合材料。

在图 5B 中，在衬底 10 上形成光波导层 11。可以用各种方法和材料来形成所述层 11，所述方法包括：溶胶-凝胶沉积石英、无定形硅、诸如 III-V 或 II-VI 材料等化合物半导体材料；掺杂化学汽相沉积石英、有机-无机混合材料或聚合材料。所述层 11 包括波导纤芯材料 13 和波导包层材料 14。然后，用光刻技术对层 11 有选择地曝光，除去多余的材料，形成波导结构 130。在另一种方法中，将波导结构材料沉积在对包层材料刻蚀得到的槽中，形成波导结构 130。还可以使用诸如浮雕和微复制等其它技术来形成波导结构 130。

图 5C 示出了波导结构 130 中形成的多个沟槽 15。用光刻技术在波导结构 130 中形成沟槽 15。通过刻蚀去除多余的材料。

在图 5D-5G 中，描述了一种制造切换元件 20 的较佳方法。在该例中，通过对一 MEMS 衬底进行微机械加工来制造切换元件 20。在图 5D 中，形成第二衬底 40。然后，在上面沉积可选择的氮化物层 52、氧化物层 50 和多晶硅层 51。用紫外线辐射将反射镜 22 和铰链 28 的图像转移到多晶硅层上。在图 5E 中，当清洗掉多余的光致抗蚀材料后，形成铰链和反射镜的模子。在图 5F 中，将反射镜材料 60 填入模子中，并用氧化物层 61 封盖。如图 5G 所示，在经历了钻孔和去除多余材料等若干中间步骤后，在第二衬底 40 上留下 MEMS 反射镜 22 和簧片 23，从而形成切换元件 20 的一部分。在反射镜 22 上涂覆一层金，形成镜面。接下来，旋转反射镜 22，使其与衬底 40 成直角。请注意，未图示的 MEMS 致动器 25 也是切换元件 20 的一部分，它也是在该过程中形成的。为清楚起见，省略了致动器 25。

图 5H 示出了制造的最后一步。将第二衬底 40 与第一衬底 10 对准，并且将反射镜 22 插入沟槽 15 中。然后，通过粘结或其它手段使第一衬底 10 与第二衬底 40 相连。通过入孔将流体 20 填入沟槽中，然后密封入孔。

图 6 是本发明第二实施例的详细视图，示出了 MEMS 装配区 26。当用表面微机械加工制造技术使切换元件 20 与衬底 10 构成一整体时，要使用装配区 26。装配区 26 形成于沟槽 15 中位于波导交叉点 29 之间的部分内。装配区的作用是为制造反射镜 22 并将其旋转到工作位置提供必要的区域。

图 7 是沿图 6 中直线 2-2 截取得到的截面图，示出了在 MEMS 反射镜旋转

到位之前的 MEMS 装配区。图中示出了在刚刚制成后，反射镜 22 平行于装配区的底部 27。制造开关的最后一个步骤是绕铰链 28 将反射镜 22 旋转到与装配区底部 27 垂直的位置。图 8 也是沿图 6 中直线 2-2 截取得到的截面图，但它示出了 MEMS 反射镜旋转到位后的 MEMS 装配区。在旋转反射镜 22 之后，它可以沿沟槽 15 内的滑轨 24 向波导交叉点 29 滑行。

本领域的普通技术人员应该认识到，还可以用其它方法来制造反射镜 22 和致动器 25。LIGA 技术完全适于此目的。LIGA 使用 X 射线深刻技术曝光对 X 射线敏感的抗蚀层。去除多余的抗蚀材料，并电镀所得到的凹凸物。所得到的形状是高度精确的金属结构，该结构可以用作注模或压铸模工艺的底版，或者用作所需结构本身。对硅进行各向异性刻蚀(110)的体微机械加工是另一种合适的制造方法。此技术比表面微机械加工工艺优越。当使用体微机械加工技术时，反射镜 22 不必按图 7-8 所示的顺序旋转。体微机械加工技术允许将反射镜 22 制作在如图 8 所示的、垂直于衬底 10 的位置，不需要铰链。由于不必旋转反射镜，所以不再需要铰链。此技术允许在反射镜的两侧镀金，实现双向开关。另一个优点是，体微机械加工技术得到的硅表面较光滑。绝缘体上外延硅技术(SOI)以及单晶反应侵蚀和金属化(SCREAM)工艺技术也可用来制造反射镜 22 和致动器 25。

如这里所表达的和图 9 所示的，在本发明的另一个实施例中，第二衬底 40 仅起盖子的作用。然后，通过粘结或其它合适的手段，使第一衬底 10 与第二衬底 40 相连。然后，通过入孔将流体 30 填入沟槽，然后密封入孔。

如这里所表达的和图 10 所示的，提供了依照本发明另一实施例的 MEMS 装配区 26 的详细视图。在图 10 中，沟槽 15 的侧壁向外扩张，形成一较宽的空隙，由此制造出 MEMS 装配区 26。侧壁的扩张从开关的交叉点 29 开始，用以使光损伤最小。较宽的空隙为反射镜 22 的初始装配提供了更大的区域。

如这里所表达的和图 11 所示的，提供了依照本发明第四实施例的截面图。光开关 1 包括第一衬底 10 和第二衬底 40。第一衬底 10 具有纤芯部分 13 和位于其上的包层 14，它们形成波导 11 和 12。在波导 11 与波导 12 相交的交叉点 29 上，形成沟槽 15。将保持准直流体 30 放入沟槽 15 中。保持准直流体 30 的折射率基本上与纤芯部分 13 的折射率相同。可移动的反射镜 22 具有允许光继续沿纤芯 13 传播的打开位置，以及将光信号引导到输出端 19(未图示)的闭合位置。反射镜位于沟槽 15 内，并且当反射镜 22 处于打开位置或闭合位



置时都基本上浸没在保持准直流体 30 中。反射镜 22 包括一个形成图案的梁 220, 该梁 220 用来将反射镜 22 固定在包层 14 上。衬底 40 具有沉积在其上的静电致动器 25。致动器 25 与晶体管 250 相连。晶体管 250 与可个别寻址的电极 252 相连。由此, 将晶体管 250 的两维阵列集成在衬底 40 上, 其中光开关 1 中的每个交叉点 29 都具有其本身可寻址的电极 252。集成化的电子电路(电极 252 和晶体管 250)是用挑放技术(pick and place technology)装配到衬底 40 上的, 或者直接集成到沉积在衬底 40 上的硅片上。因此, 第一衬底 10 是一光学衬底, 它包括  $N \times M$  波导阵列, 而第二衬底 40 是电气衬底, 它包括作用于  $N \times M$  阵列的致动和寻址方案。本领域的普通技术人员应该认识到, 此  $N \times M$  阵列形成了一个无阻断的交叉开关。

图 11 中的开关 1 按以下方式工作。当对电极 252 去激励时, 晶体管 250 不给致动器 25 提供电力, 反射镜 22 处于闭合位置。因此, 反射镜 22 将光反射到输出端 19 中(未图示)。当对电极 252 施加电力时, 晶体管 250 受激, 一静电力施加于致动器 25 上。静电力使板 220 向上弯曲, 并将反射镜 22 提升出沟槽 15, 达到打开位置。光通过交叉点 29, 继续沿纤芯 13 传播。

如在这里所表达的和图 12 所示的, 提供了本发明第四实施例的集成寻址电子电路 400 的示意图。在  $N \times M$  开关中, 当  $N=M=16$  或更大时, 不可能用其自身的电极 252 对每个晶体管 250 个别寻址。每个栅极和漏极都需要自己的电极。这样就需要  $2 \times N \times M$  个电极。在图 12 中, 电气衬底 40 包括列寻址线路  $C_1 \dots C_N$  和行寻址线路  $R_1 \dots R_M$ 。每条列寻址线路  $C_i$  与该列  $C_i$  中每个晶体管 250 的栅极相连。每条行寻址线路  $R_j$  与该行  $R_j$  中每个晶体管的漏极相连。每个晶体管 250 的源极都与单个静电致动器 25 相连。本领域的普通技术人员应该认识到, 如图 11 和图 12 所示, 致动器 25 和梁 220 形成一个电容器的上下板。本领域的普通技术人员还将认识到, 还可以将集成寻址电子电路 400 与磁致动器一起使用。

晶体管 250 可以是任何合适的类型, 但作为举例, 给出位于玻璃衬底上的薄膜晶体管。本领域的普通技术人员应该认识到, 衬底 40 可以实现为集成的高压 CMOS 芯片, 该 CMOS 芯片包括晶体管 250 和寻址线路  $C_i$ 、 $R_j$ 。寻址线路  $C_i$ 、 $R_j$  与一控制器(未图示)相连, 该控制器驱动电子电路, 进而根据网络命令驱动致动器。由于驱动致动器所需的电压在大约 70V 和 125V 的范围内, 所以需要高压的 CMOS。本领域的普通技术人员应该认识到, 某一给定应用所需要

的准确电压依赖到晶体管的大小及其泄漏电流。

寻址电子电路 400 的工作方式如下。控制器每次激励激励一列线路。在用高压激励列  $C_1$  之后，控制器将一控制字施加到行寻址线路  $R_1 \cdots R_N$  上。例如，对于具有  $R_1-R_4$  的系统，控制字 1010 将向  $R_1$  和  $R_3$  提供高压，并将  $R_2$  和  $R_4$  接地。结果，对  $C_1$  去激励，并激励  $C_2$ 。再一次，控制器将一控制字施加到行寻址线路  $R_1 \cdots R_N$  上。用类似的方式，每次激励一列上的每个致动器 25，直到开关 1 处于所需状态。本领域的普通技术人员应该认识到，对于无阻断的开关，每次只接通任何一行或一列中的一个致动器。

如这里所表达的以及图 13 所示的，提供了使用热致动器的开关的寻址电子电路 500 的示意图。热致动器是本领域众所公知的。当电流流过时，器件发热膨胀，致使反射镜 22 沿滑轨 24 移动(如图 3 所示)。在本实施例中，电子电路 500 位于光学衬底 10 上。增加二极管 260，使之与致动器 25 串联。二极管 260 将电流限制在一个方向上流过所有的致动器。使用二极管 260 可以排除与预定行至列方向或列至行方向相反的所有电路。请注意在本实施例中，通过拉低电压(在本例中，用  $V_L$ )来激励列  $C_1$ 。用高压  $V_H$  对行  $R_4$  寻址。因此，电流流过二极管 260。如果将  $C_1$  拉高，而将  $R_4$  拉低，那么二极管 260 会阻止电流沿反方向流动。

图 14 是图 13 示意图的等效电路图。如图所示，当对行  $R_4$  和列  $C_1$  加压时，二极管将阻断从列端子  $C_2$ 、 $C_3$  或  $C_4$  到行端子  $R_1$ 、 $R_2$  或  $R_3$  的所有通路。由于唯一剩下的电路是那些处于受激励行和列之交叉点上的电路，所以排除了所有不希望有的电路。这是创新之关键。如果不存在二极管 260，那么会产生非预定的电路，造成在未被寻址的致动器 25 中发生不希望有的功率损耗。如图 14 所示，有许多通路不会经过目标致动器，例如从行  $R_4$  列  $C_1$  通过行  $R_1$  列  $C_2$ 。图 14 中的二极管 262 避免了这种不希望有的电流。不希望有的电流会削弱二方面的性能。第一，它们会增加致动器件所需要的总功率。在  $4 \times 4$  阵列中，有 56% 的总功率浪费在附带的致动器上。这里假设每个致动器的电阻值是相同的。在  $32 \times 32$  阵列中，94% 的功率浪费在附带致动器上。第二，不希望有的电流可以部分激励反射镜，产生光学插入损耗和串扰。因此，包括二极管 260 避免了这些问题。

二极管 260 可以是任何合适的类型，但作为举例，给出用薄膜沉积技术制造的二极管。二极管 260 还可以用离子注入或热扩散方法来制造。还可以

象图 11 和 12 所示的第四实施例那样，在外部衬底上制造二极管 260。

尽管已经详细显示和描述本发明的特殊实施例，但应该理解，可以在不脱离后附权利要求书所述的本发明原理的精神，对本发明进行变化。因此，本发明试图覆盖发明的各种变化和改变，只要它们处在所附权利要求书及其等效技术方案的范围內。

说明书附图

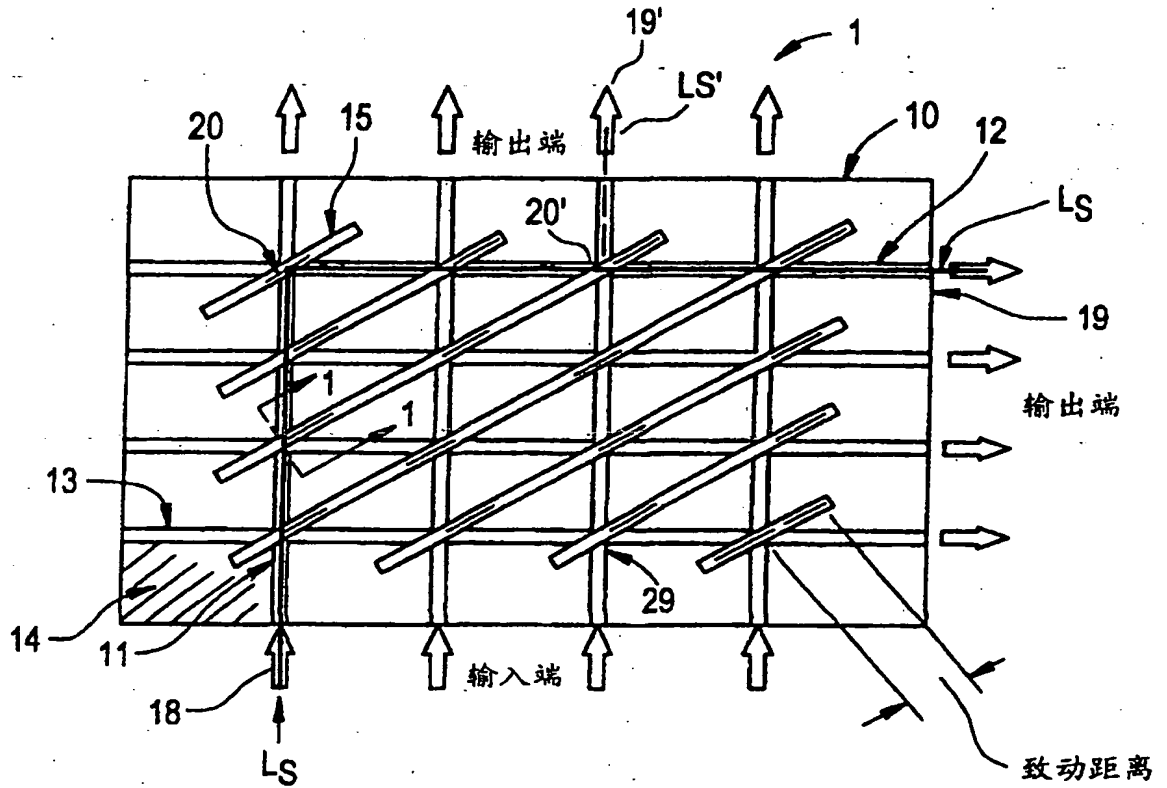


图 1

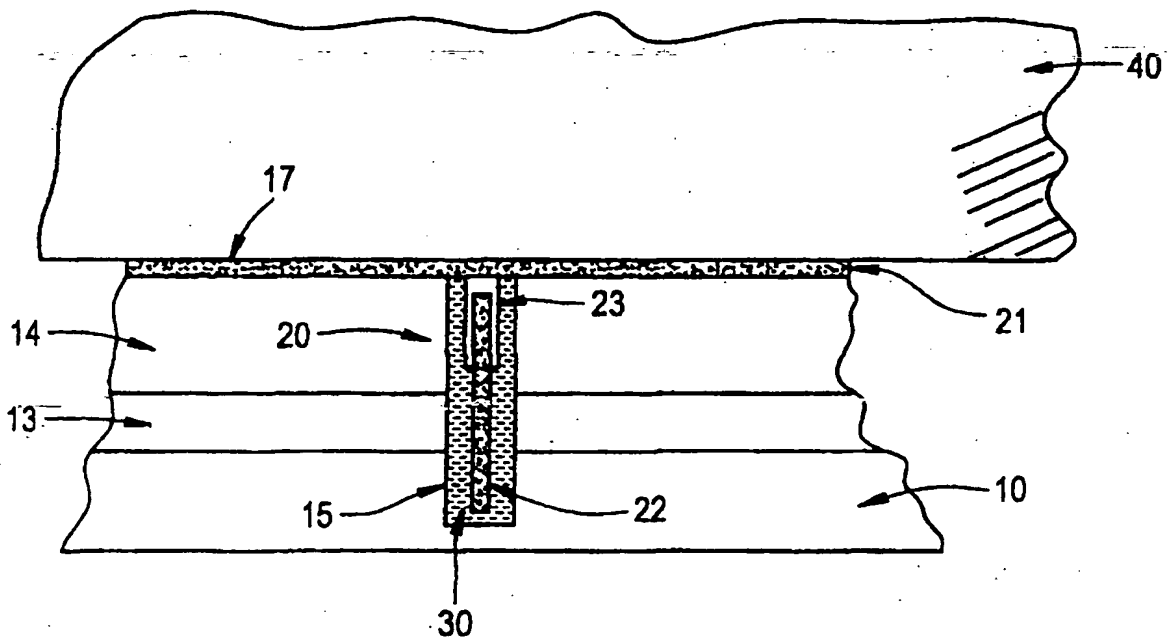
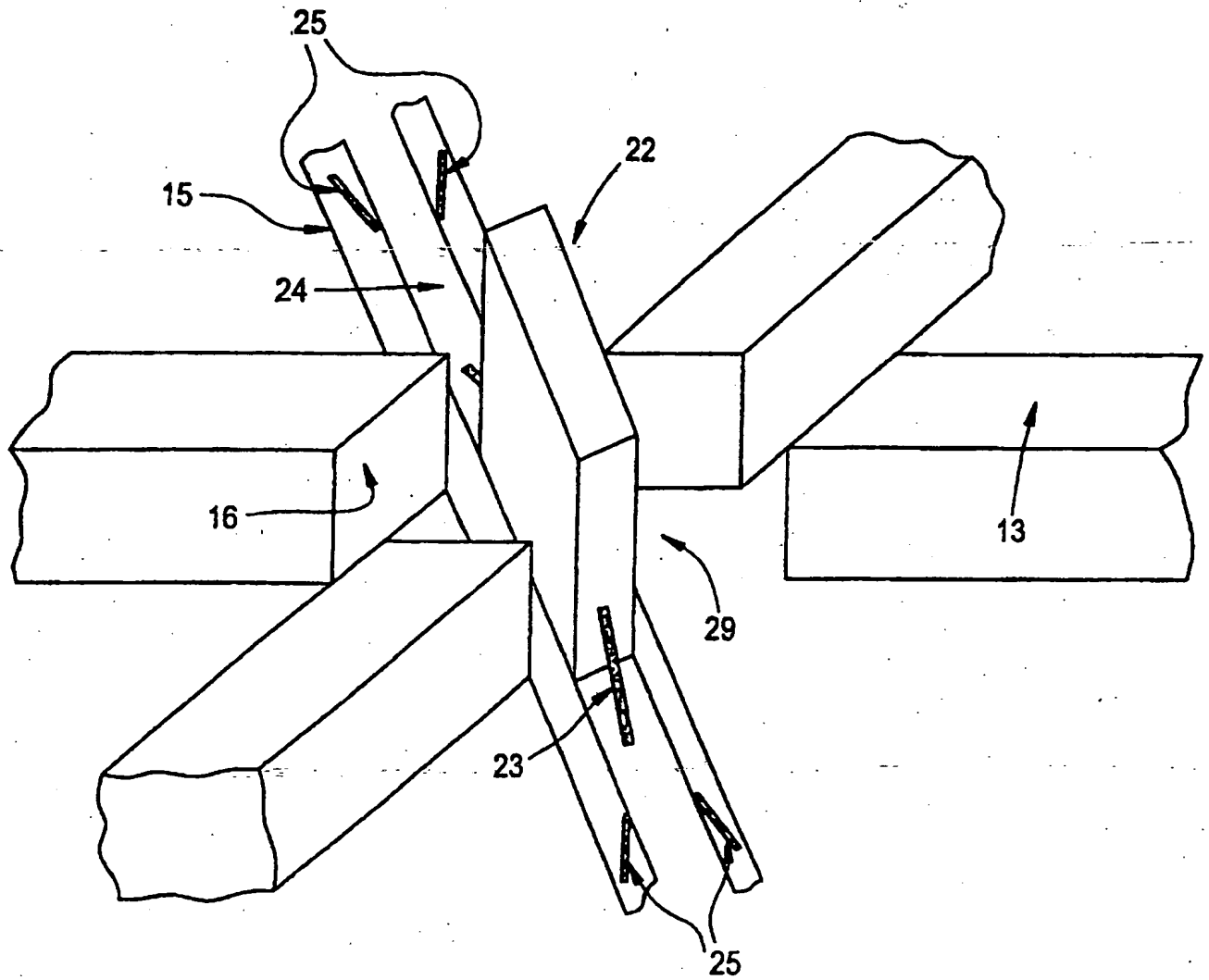


图 2



图

3

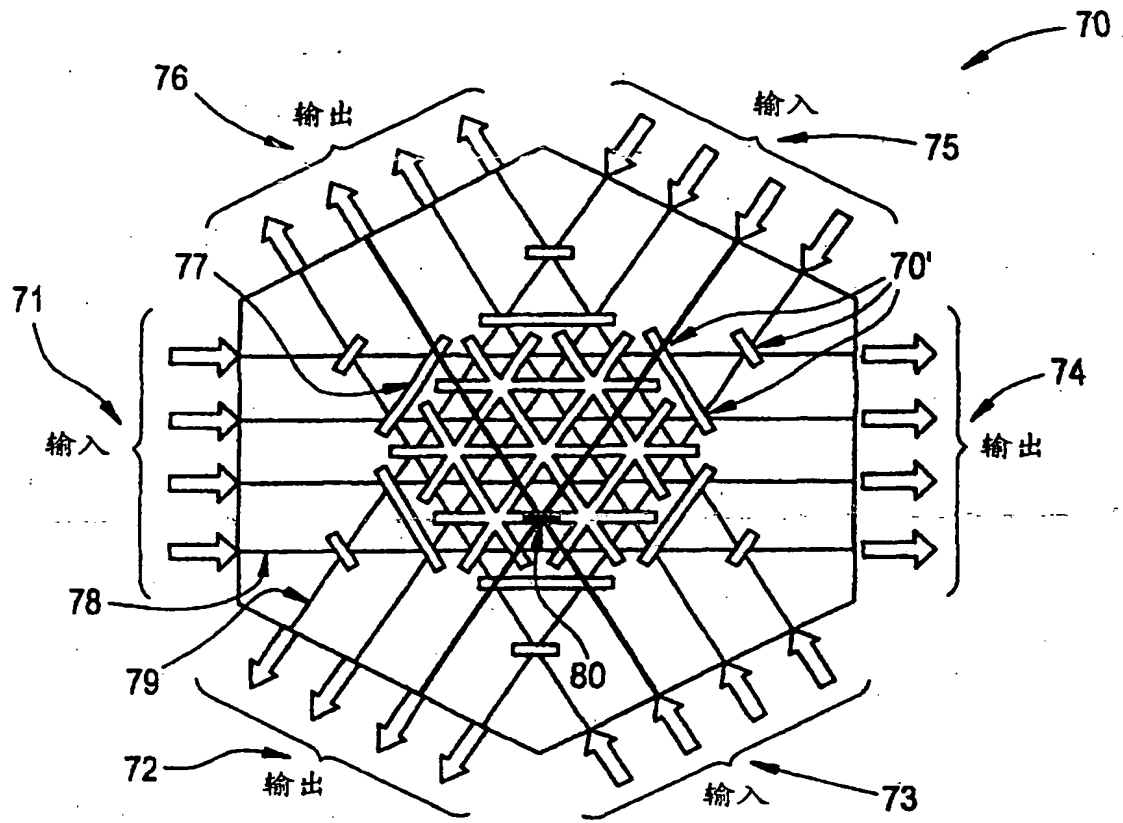


图 4

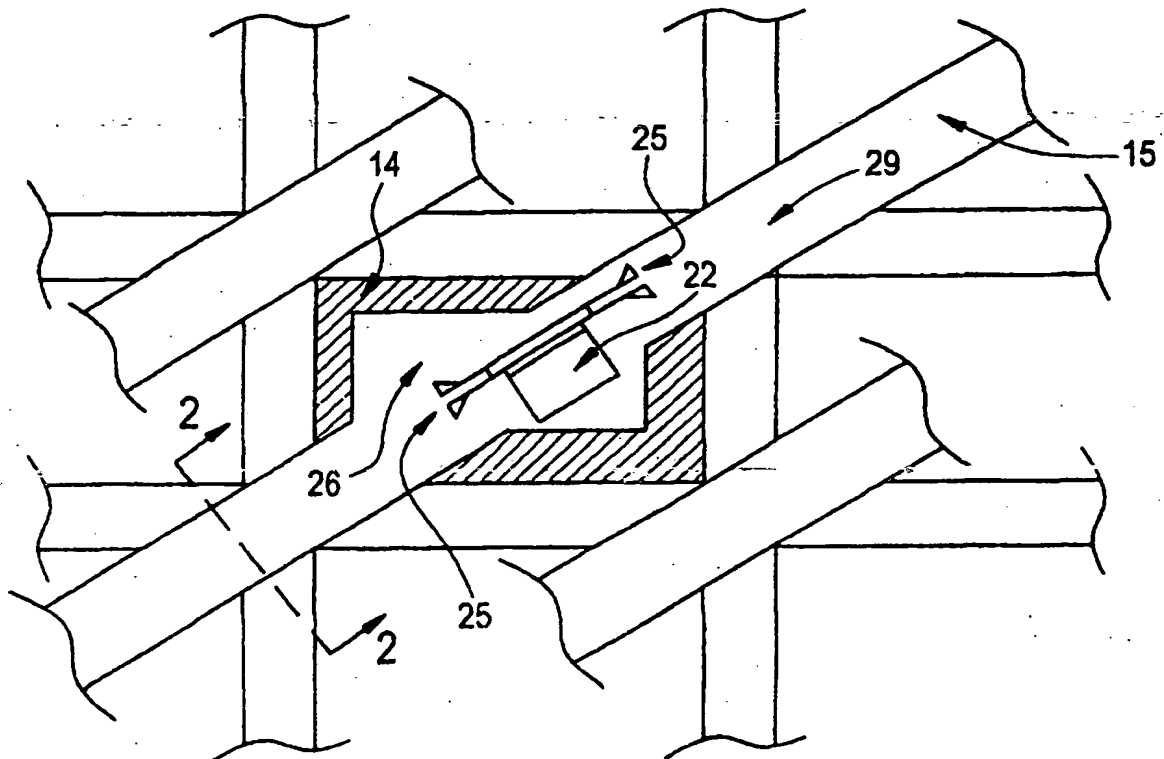


图 6

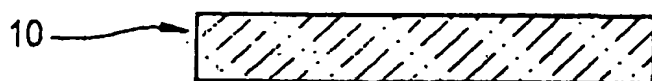


图 5A

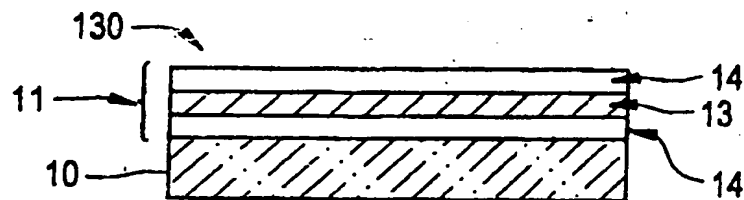
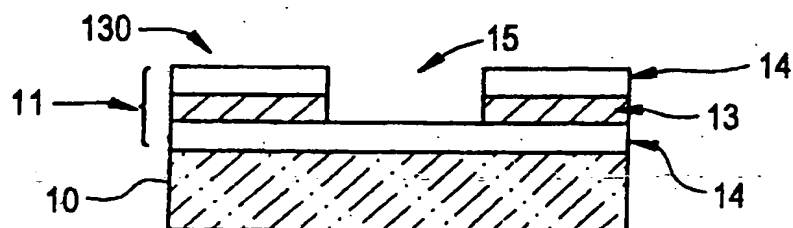


图 5B



**图 5C**



图 5D



图 5E

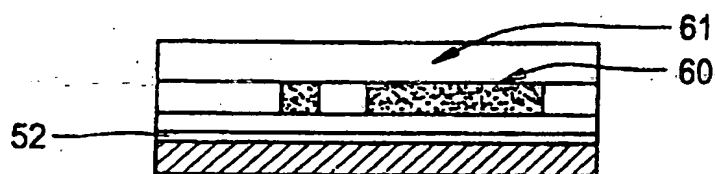


图 5F

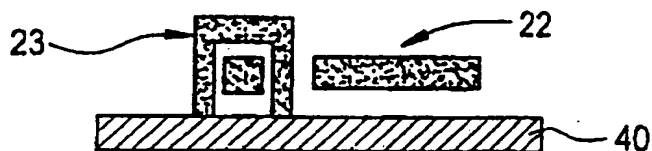


图 5G

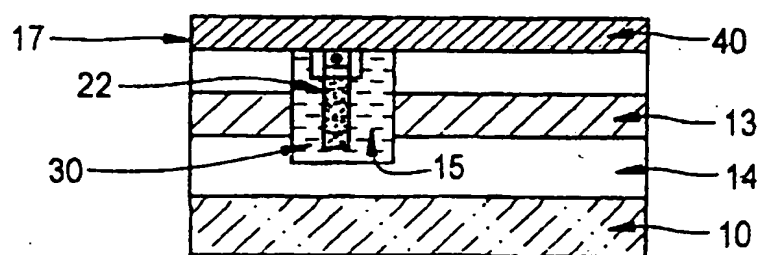


图 5H

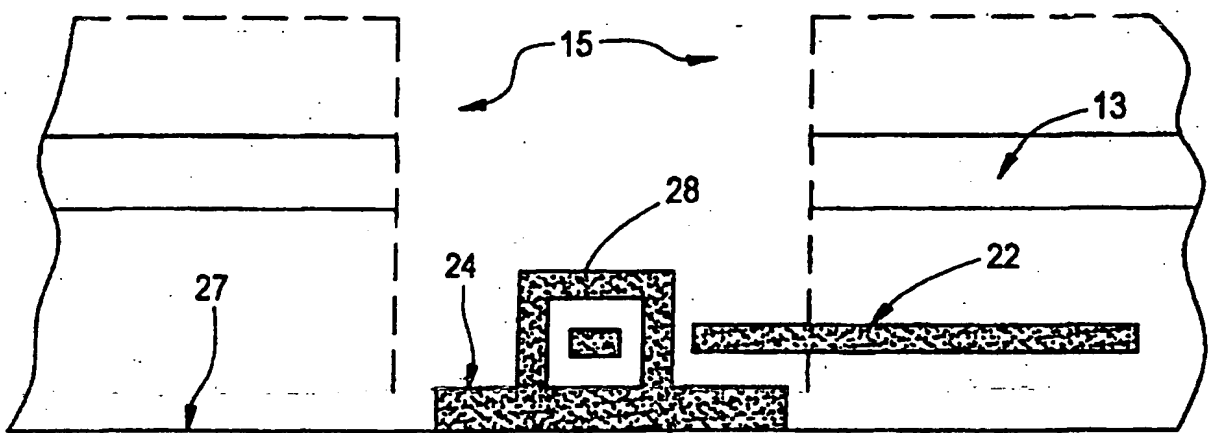


图 7

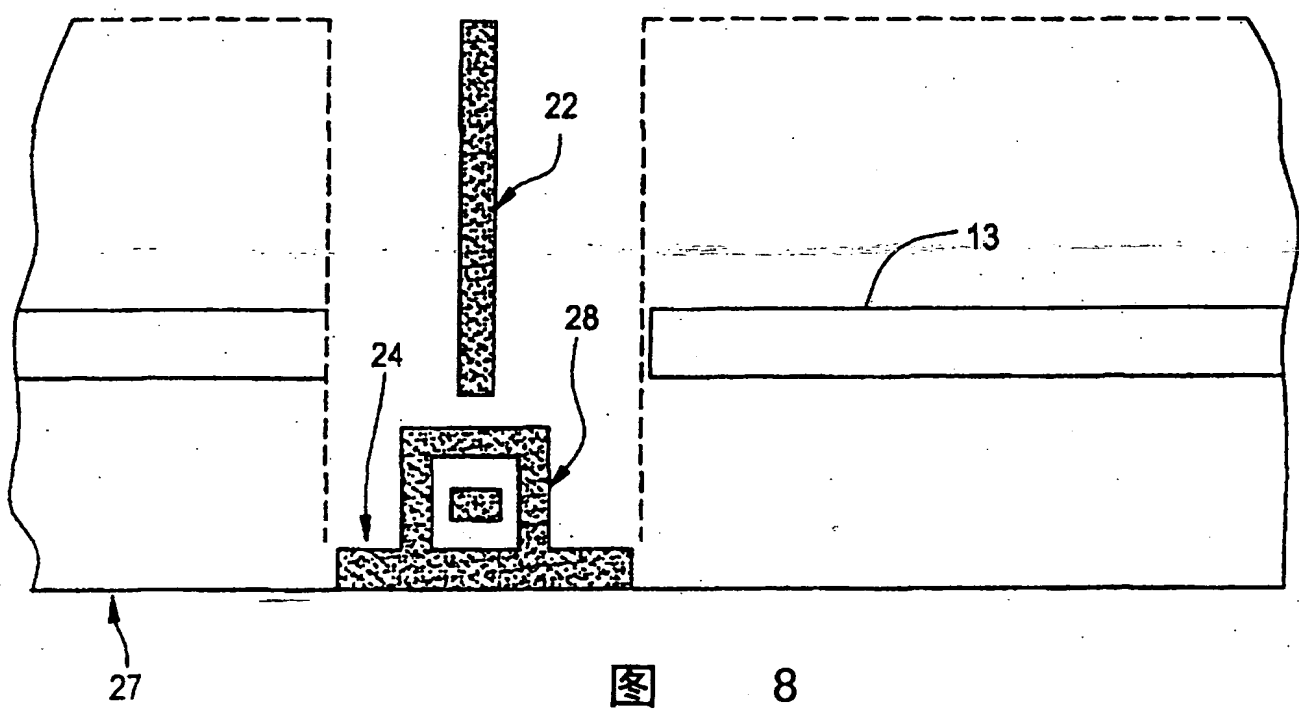


图 8



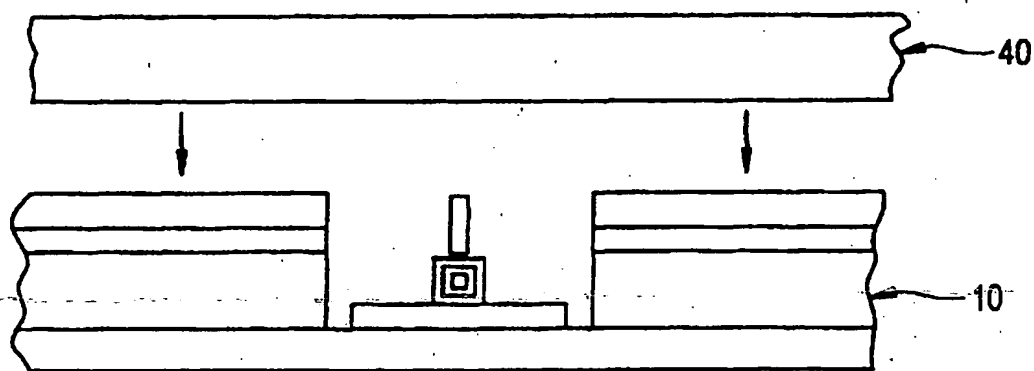


图 9

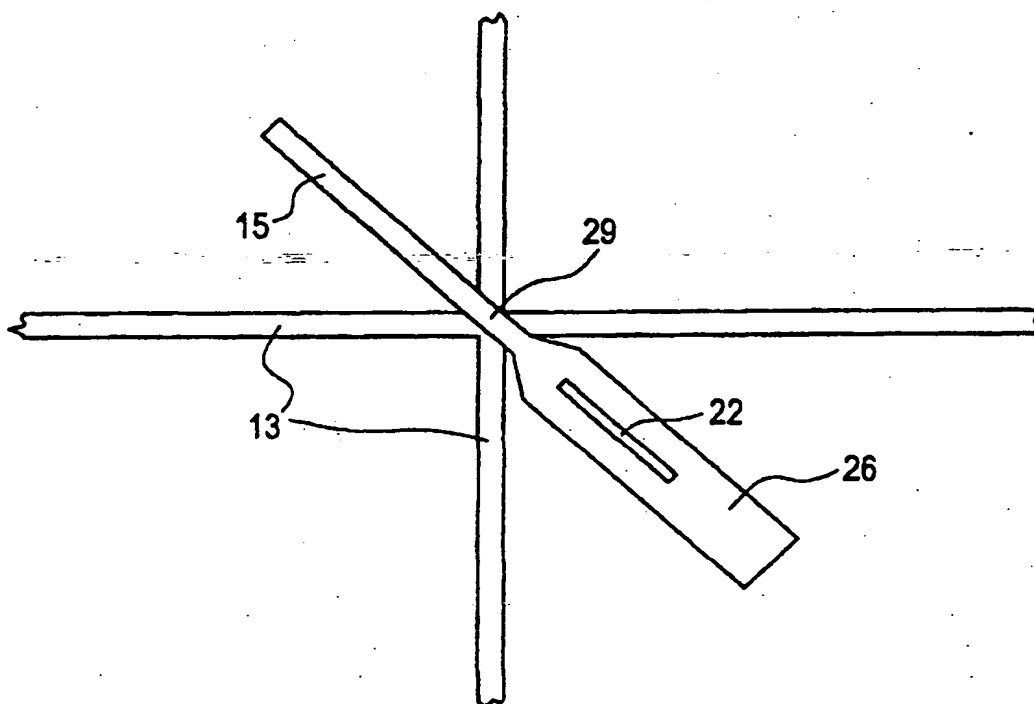


图 10

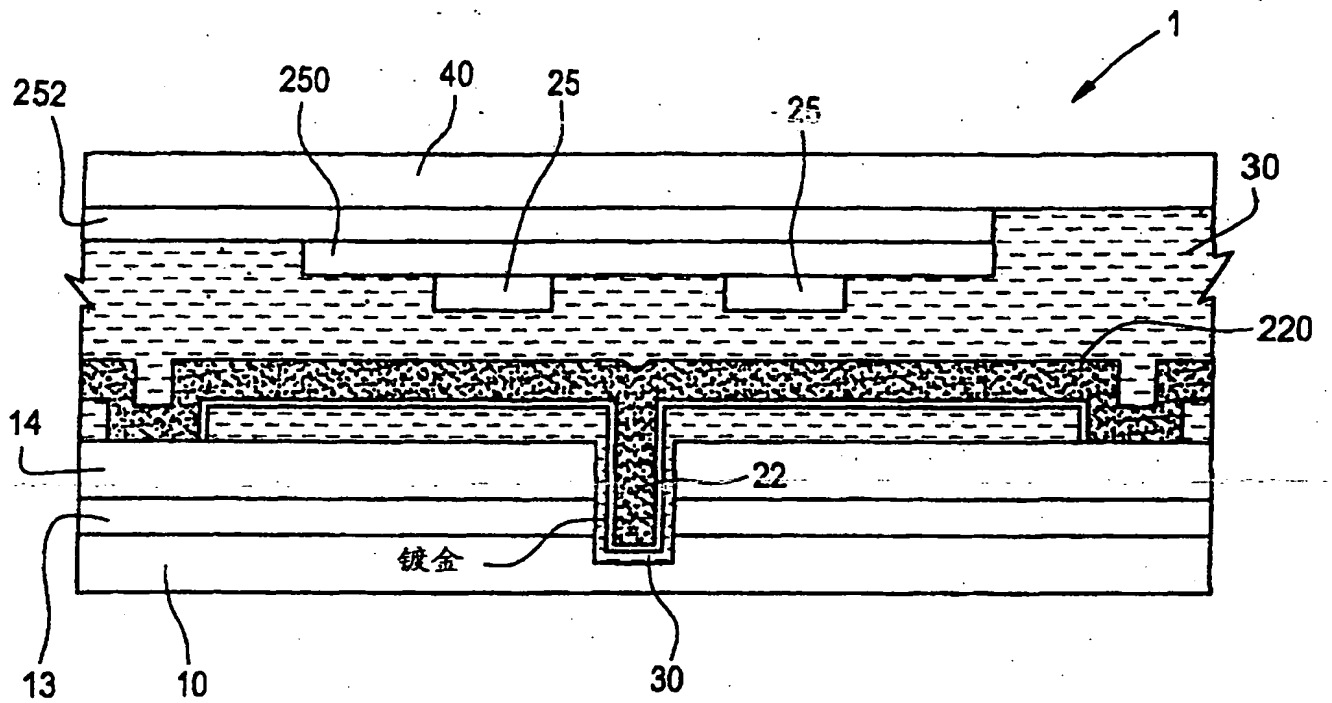


图 11

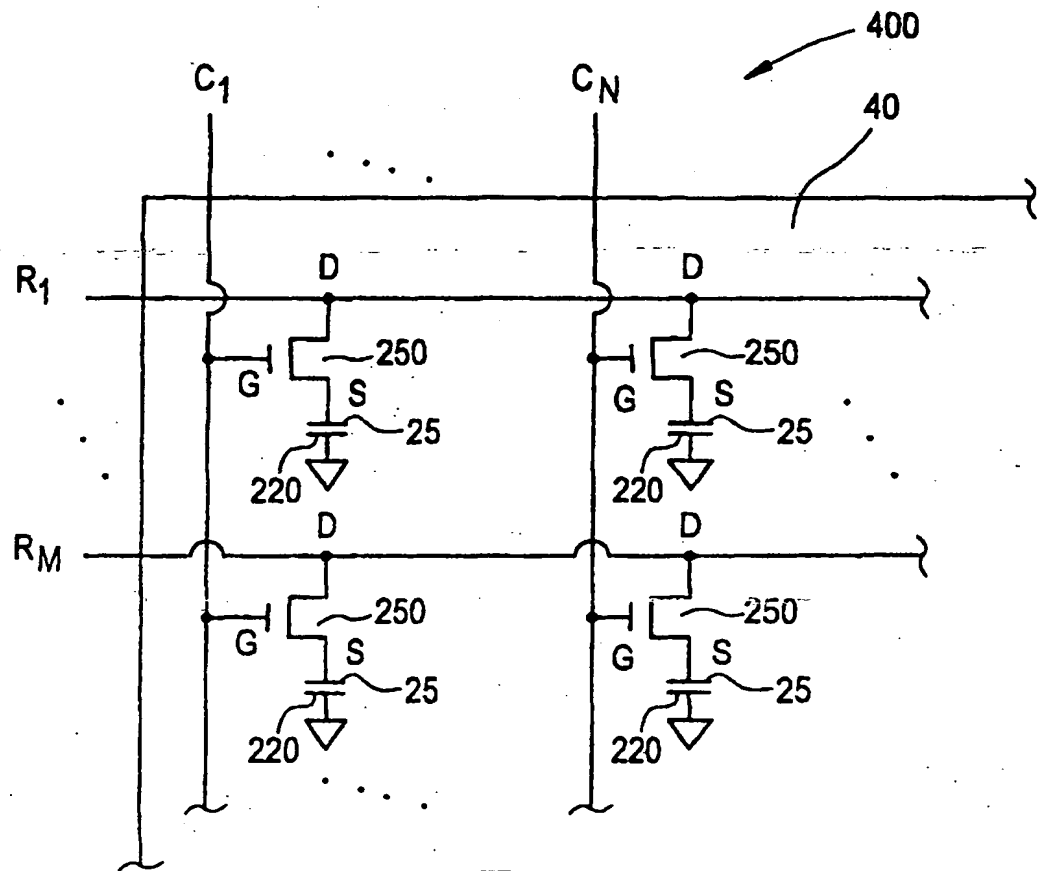


图 12

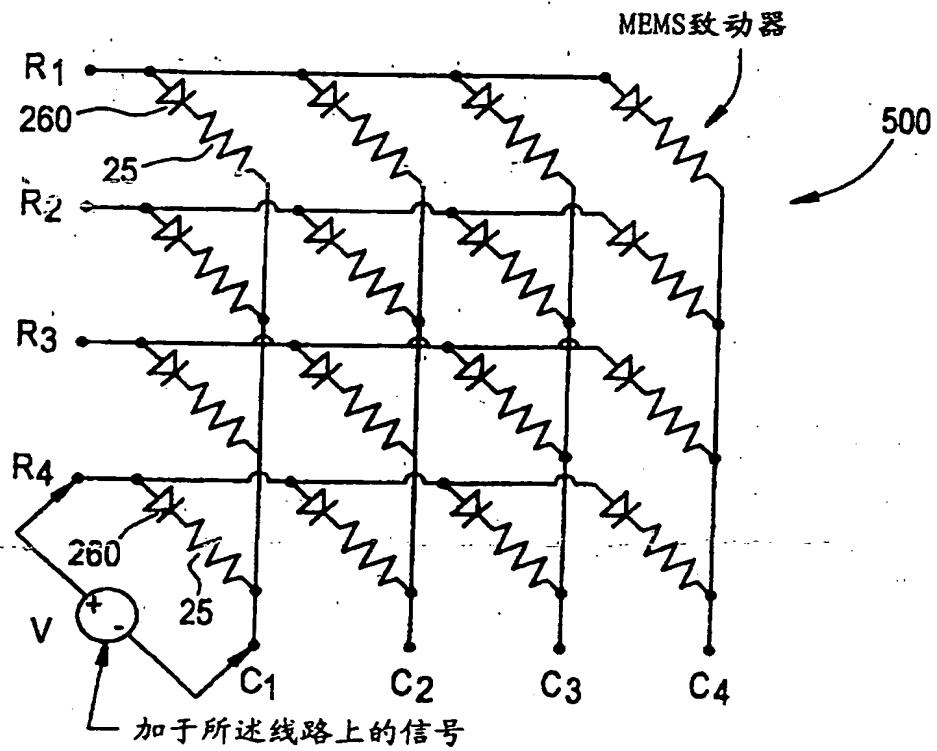


图 13

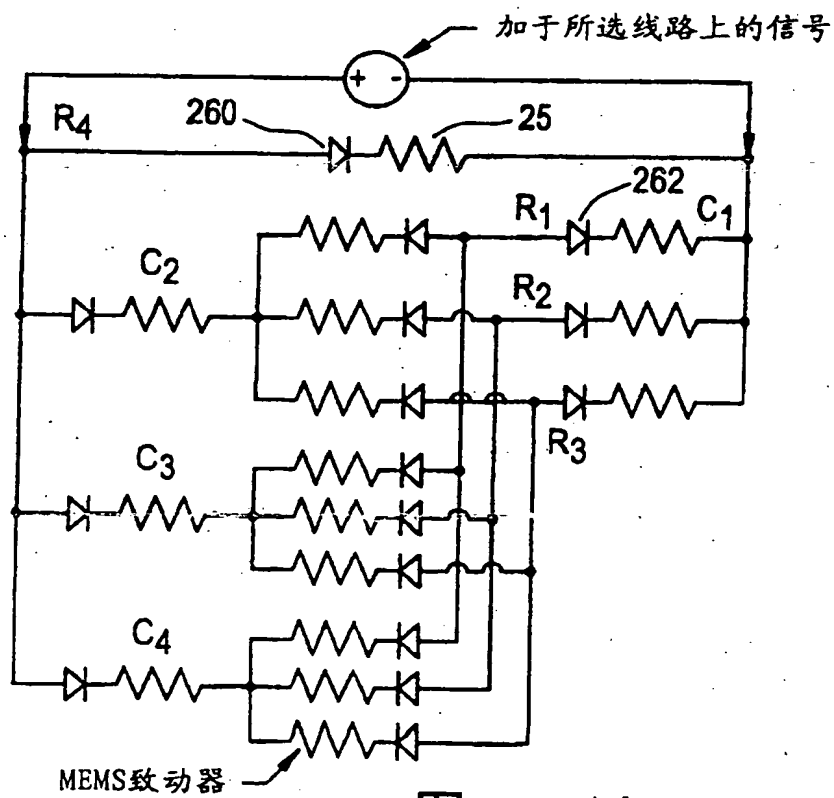


图 14

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**